



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Stima degli impatti climatici del global change su scala locale e prime valutazioni economiche. Una applicazione ad alcuni settori produttivi

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Stima degli impatti climatici del global change su scala locale e prime valutazioni economiche. Una applicazione ad alcuni settori produttivi della Toscana / Fagarazzi C.; Moriondo M.; Ferrise R.; Bindi M.. - In: ECONOMIA & DIRITTO AGROALIMENTARE. - ISSN 1826-0373. - STAMPA. - (2011), pp. 219-243.

Availability:

This version is available at: 2158/780371 since:

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

1. Introduzione
2. Metodologia
3. Risultati
4. Conclusioni

Stima degli impatti climatici del *global change* su scala locale e prime valutazioni economiche. Una applicazione ad alcuni settori produttivi della Toscana

Claudio Fagarazzi, Marco Moriondo, Roberto Ferrise, Marco Bindi¹

JEL: Q54

ABSTRACT *The aims of this work is to estimate some climatic and economic effects of climate change regard to some important agricultural cultivation in Tuscany: olives, grapevines and wheat.*

The multidisciplinary approach has allowed the examination of the dynamics of climate and farming yield, and some effects on the profitability of crops. The use of atmospheric models and agronomic models, has allowed the localization of the crops effects that may occur during this century. The subsequent economic evaluation, based on changes in gross farm income, has also generated results that could serve as a contribution towards the estimated impact of global economic impacts of climate change.

The proposed framework revealed itself to be an effective tool for climate change impact assessment at a very local scale. Additionally, this approach may be easily extended to testing the effect of different adaptation strategies in terms of management practices (e.g. irrigation) and selection varieties (e.g. longer or shorter cycle, advanced or delayed bud burst).

¹ C. Fagarazzi, Dipartimento di economia, ingegneria, scienze e tecnologie agrarie e forestali, DEISTAF, Università degli studi di Firenze, e-mail: claudio.fagarazzi@unifi.it; M. Moriondo e R. Ferrise, CNR-IBIMET, sezione di Firenze, e-mail: marco.moriondo@unifi.it - roberto.ferrise@unifi.it; M. Bindi, Dipartimento di scienze delle produzioni vegetali, del suolo e dell'ambiente agroforestale, Università degli studi di Firenze, e-mail: marco.bindi@unifi.it. La versione finale dell'articolo è pervenuta in redazione il 7 febbraio 2011.

SOMMARIO *Il presente studio si pone l'obiettivo di stimare, su scala locale, alcuni effetti climatici ed economici che il climate change potrebbe avere su importanti settori agricoli toscani, ovvero: la cerealicoltura, la viticoltura e l'olivicoltura.*

Il lavoro, condotto attraverso un approccio multidisciplinare, ha permesso l'esame approfondito delle possibili dinamiche climatiche e produttive, nonché di alcuni possibili effetti sulla redditività delle singole colture. L'articolazione dello studio, attraverso modelli atmosferici e modelli agronomici, ha permesso la localizzazione puntuale degli effetti che si potranno verificare nel corso di questo secolo sulle colture agricole esaminate. La successiva valutazione economica, basata sulla stima delle modificazioni dei redditi lordi dei processi produttivi aziendali, elaborate non solo in ragione delle modificazioni delle rese, ma anche della qualità dei prodotti realizzabili nelle diverse aree, ha quindi generato risultati che possono rappresentare un primo contributo verso la stima degli effetti economici connessi al climate change. Si tratta di un utile supporto per l'impostazione di efficienti politiche di monitoraggio e di attuazione di interventi agronomici in grado di mitigare i possibili danni causati dai cambiamenti climatici. In particolare, sulla base della distribuzione territoriale dei risultati, è stato possibile definire una serie di scenari agricoli futuri utili alla programmazione di interventi di adattamento al global change climatico.

Il presente articolo rappresenta quindi una base su cui lavorare per cercare di prevedere i possibili impatti dei cambiamenti climatici su scala locale; inoltre, questo approccio può essere facilmente utilizzato per testare gli effetti delle diverse strategie di adattamento in termini di pratiche gestionali (es. irrigazione) e di selezione varietale (es. a ciclo lungo o breve).

1. INTRODUZIONE

Le attività umane hanno profondamente influenzato le variazioni climatiche osservate negli ultimi decenni (IPCC 2007). In meno di 200 anni, la concentrazione atmosferica dei gas serra (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , CFCs) è cresciuta di circa il 50% rispetto alle condizioni pre-industriali a seguito dei crescenti consumi energetici dei Paesi industrializzati. Le conseguenze climatiche di questa alterazione si iniziano ad avvertire ora, sia in termini di variazione climatologica (aumento/diminuzione della temperatura media, aumento/diminuzione della pioggia cumulata annua) sia in termini di variabilità (incremento degli eventi estremi di temperatura, alluvioni, tornado ecc.). È verosimile che tali fenomeni tenderanno a manifestarsi anche nel prossimo futuro in misura anche più accentuata.

Da queste osservazioni nasce l'attenzione che la comunità scientifica ha rivolto allo studio del cambiamento climatico; in particolare si avverte sempre più pressante la necessità di valutare quali possano essere gli impatti del *climate change* sulle attività umane al fine di poter individuare i settori più a rischio e cercare possibili azioni di adattamento o mitigazione. Il settore agricolo è sicuramente l'attività umana maggiormente esposta al rischio di cam-

biamento climatico. La redditività di tale settore è, infatti, intrinsecamente legata all'evoluzione meteorologica e anche minime variazioni di temperatura e pioggia rispetto alla media possono avere ripercussioni negative sulla produzione finale di una coltura. Risulta pertanto fondamentale prevedere quali possano essere gli impatti del *climate change* sull'agricoltura al fine di poter individuare possibili soluzioni per adattare le colture alle mutate condizioni climatiche.

I cambiamenti climatici rischiano di incidere sui sistemi agricoli in modo molto diverso nelle varie parti del mondo. Gli andamenti climatici in atto hanno prodotto effetti positivi nel Nord Europa, sia in termini di incremento della produttività, sia della gamma di specie coltivabili (IPCC 2007); per contro, nel bacino del Mediterraneo, predominano gli effetti negativi, con minori rese delle coltivazioni agrarie e riduzione delle aree idonee per le colture tradizionali (Olesen e Bindi, 2002). Soprattutto in quest'area cresce, quindi, l'esigenza di sviluppare strumenti per la previsione degli impatti che i cambiamenti climatici possono avere su colture tradizionalmente di qualità come vite e olivo. L'elevata qualità delle produzioni agricole di questa regione è infatti il risultato delle interazioni tra microclima locale, caratteristiche del suolo e varietà coltivate.

Il *global change* climatico può minacciare gli equilibri fra questi fattori, determinando modificazioni sia nella produttività, sia nella qualità dei prodotti agricoli.

In considerazione della elevata suscettibilità che il sistema produttivo agricolo ha rispetto alle modificazioni climatiche e delle importanti ripercussioni che possono determinarsi sul sistema socio-economico rurale, risulta determinante poter prevedere i fenomeni climatici futuri, e i conseguenti effetti socio-economici, con modelli spaziali ad alta risoluzione capaci di considerare anche le possibili modificazioni microclimatiche in grado di alterare la produttività e la qualità delle colture agricole. Tali simulazioni potranno individuare le situazioni di criticità produttiva e, conseguentemente, le aree dove intervenire con politiche mirate, capaci di garantire la redditività delle imprese agricole, ovvero, attraverso interventi di sostituzione specifica, di investimento tecnologico, di dislocamento colturale ecc.

Sulla base di queste premesse, il presente studio è stato diretto allo sviluppo di un approccio multidisciplinare in grado di definire modelli previsionali, su base territoriale, capaci di stimare le dinamiche climatiche su piccola scala e le conseguenti modificazioni produttive che tali dinamiche possono avere sulle colture maggiormente rappresentative della regione Toscana, cercando di quantificare, anche in termini economici, alcuni aspetti di tale fenomeno. In particolare, lo studio è diretto ad esaminare gli effetti economici conseguenti alle sole variazioni di resa produttiva dovute alle modificazioni microclimatiche che si potrebbero avere sul territorio toscano, *ceteris paribus*.

Conseguentemente, lo studio non prende in esame interventi di adattamento quali: la sostituzione specifica o varietale, l'introduzione di nuove tecnologie nel processo produttivo, la modificazione del calendario colturale o la migrazione delle colture verso aree più idonee.

I risultati economici, *ceteris paribus*, si limitano a evidenziare la relazione causa-effetto esistente tra variazioni climatiche, modificazioni delle rese produttive e possibili variazioni di reddito delle imprese agricole.

Si tratta di un primo risultato funzionale allo sviluppo di studi sulle dinamiche delle tre colture esaminate. L'esame delle caratterizzazione climatiche delle aree attualmente destinate a vigneto, oliveto e cerealicoltura permette, infatti, valutazioni sulle superfici che, negli scenari futuri, potrebbero essere vocate alla coltivazione di tali essenze. Lo studio risulta particolarmente interessante, a scala locale, sia per il dettaglio territoriale con il quale vengono restituiti i risultati climatici, agronomici ed economici, sia per l'effetto divulgativo dovuto all'uso di una metrica, quella monetaria, estremamente chiara per i non addetti ai lavori.

Relativamente al quadro operativo dell'indagine, esso prende spunto da un modello 'General Circulation Model' (GCM) capace di stimare l'entità delle variazioni climatiche nel periodo 1975-2099, e da modelli di crescita colturale in grado di simulare l'impatto di queste variazioni sulle rese delle colture. I dati, ottenuti su base spaziale, sono stati poi utilizzati per stimare le variazioni di reddito agricolo che si potrebbero verificare nel prossimo futuro sui settori agricoli esaminati, a seguito dei prospettati cambiamenti climatici. In particolare, gli effetti economici sono stati valutati in termini di variazione del reddito lordo del processo produttivo aziendale, differenziato, su base territoriale, in relazione alle diverse tipologie di prodotto realizzabile (es. Brunello di Montalcino, Chianti docg, vino da tavola ecc.) e in relazione ai costi dei diversi processi produttivi.

La scelta di testare i modelli climatici, colturali ed economici sul territorio della regione Toscana è connessa alla rilevante importanza economica, culturale e ambientale che colture come vite, olivo e frumento assumono nella regione e alla conseguente vulnerabilità che si potrebbe avere nel settore agricolo qualora le modificazioni climatiche determinassero alterazioni produttive significative.

2. METODOLOGIA

Lo studio si è basato su un approccio multidisciplinare articolato attraverso una serie di fasi analitiche e operative che possiamo così riassumere:

- prima fase, diretta a valutare le modificazioni climatiche che si potrebbero verificare nel periodo 1975-2099 con l'impiego di un modello climatico General Circulation Model - GCM per la valutazione del fenomeno su scala macro, ed un generatore stocastico di dati meteorologici per trasporre, su scala locale, le variazioni climatiche simulate con il modello GCM, utilizzando i dati di 113 stazioni meteorologiche dell'ARSIA;

- seconda fase, orientata alla definizione delle modificazioni delle rese produttive delle colture esaminate che potremmo avere a causa delle modificazioni climatiche simulate nella fase 1; tale valutazione è stata effettuata rispetto a tre scenari futuri: 2037, 2069, 2099; in questo caso sono stati impiegati modelli di sviluppo colturale relativi a vite, olivo e frumento che tengono conto dei dati meteorologici generati dal modello previsionale GCM;
- terza fase, legata allo sviluppo di modelli di interpolazione dei risultati su base spaziale fondati sui dati locali delle 113 stazioni meteo ARSIA aggiornati attraverso il modello di downscaling impiegato nella prima fase;
- quarta ed ultima fase, finalizzata alla valutazione delle variazioni di reddito agricolo che si potrebbero verificare nei tre settori esaminati per effetto delle modificazioni delle rese produttive. In quest'ultima fase, l'impiego di modelli territoriale, oltre a valorizzare i dati georiferiti prodotti nelle precedenti fasi, ha permesso una stima delle variazioni reddituali che si potrebbero avere per effetto del *climate change*, differenziata non solo in relazione alle tre colture, ma anche in relazione ai diversi prodotti realizzabili in ogni territorio e quindi ai corrispondenti costi di produzione e prezzi rilevabili localmente.

2.1. Dati meteorologici e tecnica di downscaling

I dati meteorologici utilizzati in questo studio per il periodo 1975-2099 sono il risultato di una procedura di downscaling statistico dei dati simulati da un GCM sulla rete meteorologica regionale. Questa consta di 113 stazioni agro-meteorologiche, dislocate su tutto il territorio toscano, che registrano, su base giornaliera, temperatura minima (Tmin), temperatura massima (Tmax), precipitazione (Prec) e radiazione globale (Rad). Si tratta di un archivio messo a disposizione dall'Agenzia regionale per lo sviluppo e l'innovazione nel settore agricolo forestale (ARSIA).

La procedura di downscaling, sviluppata da Semenov and Barrow (1997), è stata implementata nel software LARS WG e prevede due operazioni successive: nella prima, viene analizzata la serie storica dei dati al fine di ottenere informazioni sia in termini di climatologia, sia di distribuzione di probabilità dei parametri meteorologici; successivamente, viene simulato l'andamento giornaliero dei parametri delle 113 stazioni, nel periodo 1975-2099, sulla base delle variazioni relative dei singoli parametri simulate dal modello globale GCM per i periodi futuri. In particolare, per questo studio è stato utilizzato il modello GCM HadCM3 con uno scenario che prevede una concentrazione di CO₂ pari a 830 ppm per la fine del secolo. I dati climatici del GCM, relativi al territorio toscano ed al periodo 1975-2099, sono stati suddivisi in quattro finestre temporali: 1975-2005 (Presente-P), 2006-2037 (Periodo Futuro 1-FP1), 2038-2069 (Periodo Futuro 2-FP2), 2070-2099 (Periodo Futuro 3-FP3).

2.2. Il modello di simulazione del frumento duro

Per stimare gli effetti sullo sviluppo fenologico della coltura a frumento è stato impiegato il modello Sirius Quality v1.1 (Jamieson *et al.*, 1998). Si tratta di un modello di simulazione del frumento in grado di calcolare l'accumulo giornaliero di biomassa in funzione della radiazione intercettata e la resa finale in base a semplici regole di ripartizione degli assimilati.

Il modello permette all'utente di specificare alcuni parametri di gestione della coltura come data di semina, parametri cultivar-specifici (sensibilità fotoperiodica, durata del periodo di riempimento della granella ecc.), proprietà relative al profilo del suolo (tessitura, spessore, contenuto iniziale di acqua e azoto ecc.), gestione dei fertilizzanti e degli interventi irrigui, concentrazione della CO₂ atmosferica.

La quantità totale di biomassa è funzione del tasso di crescita giornaliero, ottenuto come prodotto fra la quantità di luce intercettata dalle foglie e l'efficienza di uso della radiazione (RUE, g MJ⁻¹). Il modello è così in grado di valutare l'effetto della concentrazione di CO₂, aumentando progressivamente i valori di RUE fino a +30% per concentrazioni di CO₂ uguali o superiori a 720 ppm (Jamieson *et al.*, 2000). Il modello è stato calibrato per il frumento duro sulla base dei risultati di due esperimenti di pieno campo condotti nel 2003-2005 a Firenze (Ferrise *et al.*, 2010) e convalidato a scala locale su 3 aree lungo la penisola italiana.

2.3. Il modello di simulazione della vite

Il modello adottato per la simulazione delle rese della vite è stato sviluppato da Bindi *et al.* (1997a) ed è stato calibrato e validato per le cultivar Sangiovese e Cabernet-Sauvignon in Toscana (Bindi *et al.*, 1997b). Lo sviluppo fenologico della coltura (germogliamento, fioritura, invaiatura e maturazione) viene simulato sulla base dell'accumulo termico necessario al raggiungimento delle diverse fasi di sviluppo. L'accumulo termico è calcolato come sommatoria delle temperature medie giornaliere superiori alla soglia critica di 10°C.

Il modello stima l'incremento giornaliero di biomassa in funzione della radiazione intercettata dalla copertura vegetale e del RUE. La biomassa cumulata della pianta viene ripartita fra biomassa vegetativa e riproduttiva sulla base di un coefficiente di ripartizione (Harvest Index). È quindi possibile stimare l'effetto dello stress idrico modificando in modo opportuno l'accrescimento fogliare e il RUE in funzione della disponibilità idrica del suolo. Infine, l'effetto dell'incremento di CO₂ sull'accumulo di biomassa è simulato considerando un aumento progressivo della RUE fino ad un massimo del 30%, in corrispondenza di una concentrazione di CO₂ uguale o superiore a 550ppm (Bindi *et al.*, 2001).

2.4. Il modello di simulazione dell'olivo

Il modello produttivo per l'olivo è stato sviluppato con tecniche statistiche. Le rese di olivo degli ultimi 12 anni, a scala provinciale, fornite dall'ISTAT, sono state utilizzate per la calibrazione di un modello multiregressivo che utilizza parametri meteorologici come variabili indipendenti. In particolare, le temperature medie mensili e stagionali e il corrispettivo cumulato di pioggia, aggregato a scala provinciale, sono stati utilizzati come input del modello, valutando la significatività di ogni variabile.

In base ai risultati ottenuti, il modello produttivo è stato espresso matematicamente con la seguente espressione (equazione 1):

$$resa_olive = 51.42 + (1.34 * Tm_feb) - (2.72 * Tm_prim) + (0.11 * P_feb) - (0.05 * P_mag) \quad (1)$$

Dove:

- *resa_olive* è la resa per ettaro espressa in tonnellate,
- *Tm_feb* è la temperatura media del mese di febbraio,
- *Tm_prim* è la temperatura media primaverile (aprile, maggio, giugno),
- *P_feb* è la pioggia media cumulata in febbraio,
- *P_mag* è la pioggia media cumulata in maggio

Dal confronto tra gli output del modello e i dati osservati risulta un errore quadratico medio di 4.91 Mg ha⁻¹ e un coefficiente di correlazione di Pearson di 0.75.

Per l'olivo, l'effetto dell'incremento di CO₂ sull'efficienza fotosintetica non è stato preso in considerazione, giacché, da studi svolti, sembra che dopo il primo anno di trattamento in alta CO₂, si verifichino fenomeni di acclimatazione che portano l'efficienza fotosintetica a ridursi fino a valori standard (Tognetti *et al.*, 2001).

2.5. Tecnica di interpolazione degli output

Gli output dei modelli ottenuti per vite, olivo e frumento duro, relativi a ciascuna delle 113 stazioni, sono stati interpolati a scala regionale al fine di fornire una caratterizzazione completa degli andamenti produttivi della regione Toscana.

L'interpolazione degli output è stata effettuata utilizzando una rete neurale (RN) (McClelland e Rumelhart, 1986). Questa è una tecnica appropriata per risolvere problemi che, come in questo caso, richiedono l'interpretazione di un gran numero di dati (Gardner e Dorling, 1998).

Di solito, la struttura delle RN è organizzata su tre strati: nel primo livello troviamo gli input (ricevono e trasmettono informazioni), nel secondo ci sono gli *hidden nodes* (ela-

borano e trasmettono informazioni) e infine troviamo il livello di output (forniscono i risultati dell'elaborazione). Ogni neurone di ogni strato è interconnesso con tutti i neuroni del livello successivo.

Lo sviluppo delle RN concernenti ciascun parametro da interpolare (le rese colturali) ha previsto una fase di *training*, in cui la rete ha analizzato i meccanismi che regolano le relazioni tra input ed output, modulando il peso che lega i vari neuroni nelle varie interconnessioni (Moriondo and Bindi, 2006). In seguito, le RN calibrate durante la fase di *training* sono state testate su un campione di dati indipendente. In particolare, la RN è stata allenata utilizzando le variabili topografiche e geografiche di ciascuna stazione come input e le rese colturali simulate come output desiderato. L'80% delle stazioni sono state utilizzate in fase di *training*, il 20% in fase di testing. Da un'analisi preliminare è risultato che quota, pendenza e distanza dal mare sono le variabili maggiormente correlate con i processi analizzati e sono quindi state utilizzate come i soli input della rete neurale.

Le relazioni ottenute sulla base della rete neurale sono, quindi, state applicate all'intero territorio regionale utilizzando come input le stesse variabili (quota, pendenza, distanza dal mare) intese come strato informativo spaziale, ottenendo un output spazializzato. In questo caso sono stati utilizzati strati informativi con una risoluzione di 1 km.

2.6. Metodologia per la stima degli effetti economici

Una volta definiti i modelli spaziali di crescita delle tre colture esaminate, si è proceduto alla valutazione di alcuni effetti sull'economia agricola regionale.

Dalla letteratura internazionale (Ackerman e Stanton, 2006) è possibile individuare la seguente classificazione di possibili impatti determinati dal cambiamento climatico sul sistema economico:

- danni economici a settori specifici: agricoltura, selvicoltura, pesca e acquacoltura, turismo;
- danni al sistema economico generale: danni materiali e umani da eventi calamitosi, spese difensive;
- danni ambientali: estinzione di specie, perdita di ecosistemi;
- impatti sugli equilibri geopolitici: movimenti migratori, tensioni e conflitti internazionali.

A livello metodologico, le diverse tipologie di danno hanno metodi di valutazione che si rifanno ad approcci estimativi molto diversificati: danni a beni di mercato, danni a beni non di mercato, impatti macroeconomici. Il caso più semplice è quello dei danni di mercato dovuti a cambiamenti nell'andamento stagionale, mentre la situazione più complessa è quella degli impatti macroeconomici derivanti da eventi catastrofici su scala internazionale

(Downing e Watkiss, 2004). In questo caso, in relazione agli obiettivi della ricerca, la metodologia di valutazione è riconducibile alla stima del probabile danno economico e patrimoniale derivante dalla perdita di produzione agricola conseguente ai cambiamenti nella media dei parametri climatici.

La metodologia si limita, quindi, a esaminare gli effetti economici conseguenti alle sole variazioni di resa produttiva dovute alle modificazioni microclimatiche che si potrebbero avere sul territorio toscano, *ceteris paribus*.

I risultati economici dello studio, *ceteris paribus*, rappresentano un risultato parziale che evidenzia la relazione causa-effetto esistente tra variazioni climatiche, modificazioni delle rese produttive e possibili variazioni di reddito delle imprese agricole.

È infatti evidente che, per valutare in modo esaustivo le dinamiche economiche future del settore agricolo, sarebbe necessario sviluppare indagini su aspetti quali le dinamiche dei prezzi, dell'offerta, delle tecnologie e delle strategie di adattamento delle imprese che richiederebbero approfondimenti specifici. Malgrado ciò, il risultato fornisce un supporto preliminare alla strutturazione di politiche efficienti di monitoraggio e di mitigazione del danno economico generato dai cambiamenti climatici.

Consapevoli dei limiti dell'approccio, il probabile danno economico per gli scenari futuri è stato calcolato in funzione degli utili netti annui e dei redditi lordi del processo produttivo aziendale, valutati per ciascuna unità territoriale considerata (pixel di 75x75m). Conseguentemente, il danno economico alle produzioni di frumento, olio e vino regionali è stato valutato relativamente ai mancati redditi delle imprese agricole attualmente coinvolte nella produzione di tali commodities; pertanto, il dato di partenza, necessario per questo tipo di valutazione, è rappresentato dal reddito lordo del processo produttivo aziendale. La scelta di utilizzare tale parametro è legata a due fattori: il primo, connesso al fatto che, attraverso i modelli di crescita colturale illustrati in precedenza, è stato possibile stimare, per gli scenari futuri FP1, FP2, FP3, le variazioni delle rese produttive (q.li/ha) della vite, del frumento e dell'olivo, per cui risultava facilmente calcolabile la variazione di produzione lorda vendibile. Il secondo, connesso al fatto che il reddito lordo del processo produttivo aziendale rappresenta un parametro utilizzato anche nelle statistiche sulle strutture delle aziende agricole, condotte a livello europeo da Eurostat e, a livello italiano, dall'ISTAT, quindi in grado di fornire risultati comparabili con altre fonti statistiche². Per procedere alla stima del danno, è stato necessario calcolare i redditi lordi generati dai processi produttivi delle colture a vite, frumento e olivo nel 2006, i relativi costi di produzione al 2006 e verifi-

² Sia l'Eurostat che l'ISTAT fanno riferimento al concetto di reddito lordo standard, un parametro utilizzato per determinare la dimensione economica delle aziende agricole espressa in termini di unità di dimensione economica (UDE). I RLS sono riferiti ad un periodo temporale di tre anni e vengono calcolati a livello regionale sulla base dei dati empirici rilevati direttamente presso le aziende.

care le modificazioni indotte, su redditi e costi, dalle variazioni di resa stimate con i modelli di crescita colturale.

Come precedentemente evidenziato, lo studio ha esaminato le variazioni dei redditi agricoli, ferme restando tutte le altre condizioni. In particolare, l'analisi non ha considerato modelli previsionali dei prezzi in quanto, su scenari così lunghi, risultano piuttosto rischiosi, a causa dell'elevata aleatorietà che possono introdurre. Molteplici studi (Jorgenson 1984; Kehoe *et al.*, 1995; Valenzuela *et al.*, 2007; Hertel *et al.*, 2005), diretti alla definizione di modelli generali di equilibrio (CGE) per la stima dei prezzi futuri di alcuni prodotti agricoli, fra cui il frumento, hanno evidenziato, attraverso la comparazione tra dati empirici e dati simulati, le grosse limitazioni dei modelli predittivi dei prezzi. Nel caso del frumento, i modelli CGE tendono infatti a sovrastimare la volatilità dei prezzi nei Paesi, come l'Italia, che risultano importatori netti. La generalità degli autori sottolinea, inoltre, il debole potere predittivo dei modelli, soprattutto in presenza di shock del mercato internazionale legati a eventi politici, guerre, crisi valutarie, embarghi commerciali e sviluppi tecnologici che si possono verificare nel periodo analizzato. Gli agenti si troverebbero, infatti, a operare in un contesto stocastico, anziché deterministico, caratterizzato da continui shock esogeni casuali che possono colpire tanto le funzioni di domanda quanto quelle di offerta, determinando spesso equilibri temporanei, frutto di scelte volontarie degli agenti che cercheranno di adattarsi ai nuovi scenari.

Lo studio ha, quindi, fatto riferimento a prezzi costanti, definiti sulla base dall'archivio della Rete d'informazione contabile agraria (RICA) e validati su un campione di operatori.

Relativamente alle integrazioni comunitarie, esse sono state considerate per il solo scenario attuale, mentre non sono state considerate per gli scenari futuri a causa del quadro di incertezza esistente circa la Politica agricola comunitaria che sarà attuata dopo il 2013.

Infine, è opportuno sottolineare che non sono stati considerati costi aggiuntivi legati all'introduzione di nuove tecnologie³ per la mitigazione degli effetti climatici. L'introduzione di interventi di adattamento non sarebbe coerente con gli obiettivi dello studio e inficerebbe i risultati dei modelli di sviluppo colturale.

Sulla base di tale ipotesi, il reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali relativi ai vari scenari (PP, FP1, FP2 e FP3) è stato calcolato come differenza tra i valori monetari della produzione lorda vendibile regionale (PLV_m^j) dell'attività e alcuni costi specifici rappresentati, nel nostro caso, dai c.d. costi variabili (CV_m^j) (equazione 2).

$$RL_m^j = PLV_m^j - CV_m^j = \sum_{x \in X_{j,m}} s_{x,m} \cdot p_{y,m} - \sum_{x \in X_{j,m}} s_{x,m} \cdot cv_{y,m} \quad (2)$$

³ Sistemi di irrigazione a goccia, reti per il controllo remoto della fisiopatologia delle piante ecc.

Dove:

- RL_j^m = reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali per la coltura j-esima nello scenario m-esimo;
- PLV_j^m = produzione lorda vendibile totale regionale per la coltura j-esima nello scenario m-esimo;
- CV_j^m = costi variabili totali regionali per la coltura j-esima e lo scenario m-esimo;
- $X_{j,m}$ = insieme dei pixel in produzione per la coltura j-esima nello scenario m-esimo;
- $s_{x,m}$ = resa unitaria (q.li/pixel) della coltura j-esima, situata sul pixel x-esimo, per lo scenario m-esimo;
- $p_{y,m}$ = valore unitario (€/q.le) della produzione lorda totale della coltura j-esima, situata sulla zona omogenea y-esima, per lo scenario m-esimo;
- $cv_{y,m}$ = costo variabile unitario (€/q.le) di produzione della coltura j-esima, situata sulla zona omogenea y-esimo, per lo scenario m-esimo.

La produzione lorda vendibile è stata calcolata come prodotto tra la resa (produzione fisica unitaria ($s_{x,m}$) – q.li/ha), stimata per i vari scenari e per ciascuna unità territoriale (pixel) con i modelli di crescita colturale ed il valore unitario della produzione lorda totale ($p_{y,m}$) (€/q.le), ovvero il valore del prodotto principale e/o di quello trasformato e dei sottoprodotti. Per la stima della produzione lorda totale relativa agli scenari futuri FP1, FP2 e FP3 non sono state considerate le integrazioni comunitarie di cui godono attualmente le imprese agricole.

Alla produzione lorda, calcolata come sopra specificato, sono stati detratti i costi variabili (CV_j^m), ovvero i costi connessi a interessi sul capitale di anticipazione, alla remunerazione dei lavoratori avventizi e alle spese per l'acquisto di fattori a logorio totale (che esauriscono cioè il loro effetto nel corso dell'annata agraria)⁴.

Come evidenziato nell'equazione 2, nel calcolo del reddito lordo totale regionale del processo produttivo aziendale sono stati considerati i diversi contesti produttivi e le diverse qualità dei prodotti realizzabili in Toscana. Non è infatti plausibile l'attribuzione di un unico prezzo di mercato al prodotto vino toscano, in quanto esso ha un'elevata eterogeneità qualitativa legata al contesto in cui viene prodotto e al vitigno utilizzato. Parimenti, non è ipotizzabile considerare gli stessi costi produttivi per vini come il Brunello di Montalcino o il vino

⁴ Per le produzioni vegetali, i fattori a logorio totale sono rappresentati da:

- sementi e materiale di moltiplicazione (acquistati o prodotti in azienda),
- concimi comprati,
- prodotti di protezione delle colture (fitofarmaci),
- spese varie specifiche, comprendenti: il costo dell'acqua per l'irrigazione, le spese di riscaldamento, le spese di essiccazione, le spese di commercializzazione (ad esempio cernita, pulitura, imballaggio ecc.) e di trasformazione, le spese di assicurazione, gli altri costi specifici.

da tavola che subiscono trattamenti e affinamenti estremamente diversificati, quali l'invecchiamento in botti, l'affinamento in bottiglia ecc. Per tale ragione, per giungere ad una stima rappresentativa dei parametri (prezzo e costi variabili unitari) è stato fatto riferimento all'archivio informatico dei redditi delle aziende agrarie toscane realizzato da ARSIA, nell'ambito della collana «Informazioni statistiche» curata dal Settore statistica della Regione Toscana⁵.

Esso è costituito da dati rilevati nelle aziende agricole toscane appartenenti alla Rete d'informazione contabile agraria (RICA), gestita congiuntamente dalla Regione Toscana, dall'ARSIA e dall'INEA grazie ad uno specifico protocollo d'intesa in attuazione di Regolamenti comunitari e disposizioni nazionali. Il database dei costi e redditi delle colture agricole toscane relativo al periodo 1998-2006 è stato realizzato sulla base di un'indagine condotta su un campione costante di 6.644 aziende analizzate rispetto al processo e alla tecnica produttiva.

L'archivio raccoglie i dati relativi a 55 processi produttivi diversificati in relazione alla provincia, al comune, alla zona altimetrica (pianura, collina e montagna), alla tecnica di coltivazione (convenzionale, integrata e biologica) ecc.

Sulla base dell'archivio «Costi e redditi delle colture agricole toscane per il periodo 1998-2006» sono stati individuati i seguenti parametri, per ciascuna delle aree omogenee individuate dalla RICA a livello toscano:

- valore unitario della produzione lorda totale ($p_{y,m}$)(€/q.le): rappresenta la sommatoria dei valori del prodotto principale e/o di quello trasformato, dei sottoprodotti e delle integrazioni comunitarie (per il solo periodo attuale - 2006), divisi per la resa standard ad ettaro (q.li/ha) di ogni specifico contesto territoriale.
- costi variabili unitari ($cv_{y,m}$)(€/q.le): rappresentano la sommatoria di tutti gli oneri sostenuti per i mezzi tecnici a logorio totale (che esauriscono cioè il loro effetto nel corso dell'annata agraria) e per l'impiego di manodopera avventizia, divisi per la resa standard a ettaro (q.li/ha) di ogni specifico contesto territoriale.

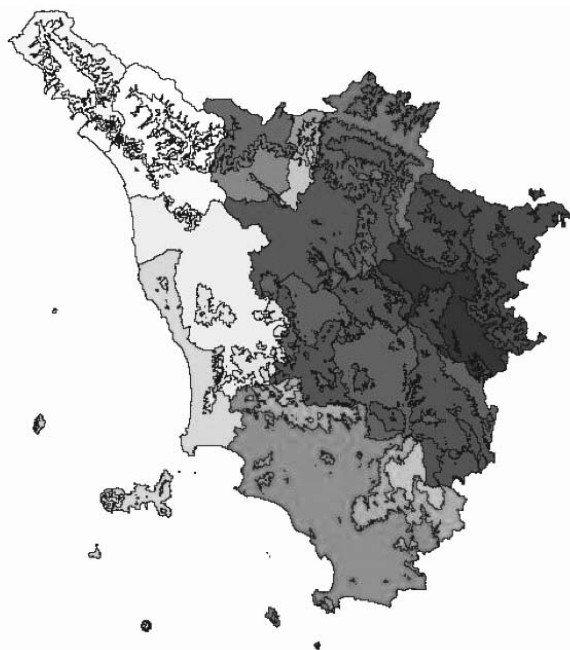
Tali parametri sono stati individuati tenendo conto delle diverse colture e dei diversi disciplinari di produzione, ovvero: frumento, oliveto, vigneto per la produzione di vino area Chianti Classico, vigneto per la produzione di vino area Chianti, vigneto per la produzione di vino area Montalcino, vigneto per la produzione di vino da tavola, vigneto per la produzione di altri DOC e DOCG.

Essendo l'archivio dei costi e dei redditi delle colture agricole toscane differenziato in relazione al contesto territoriale (provincia, comune e area altimetrica) è stato possibile differenziare i costi e i redditi delle tre colture in relazione a 30 zone omogenee, ovvero le aree di pianura, collina e montagna delle 10 province toscane. Per il vino, è stato possibile

⁵ Nel caso specifico, sono stati considerati i dati relativi all'anno 2006.

differentiare ulteriormente i redditi e i costi rispetto alle aree di pertinenza delle diverse denominazione di origine (Chianti Classico, Brunello ecc.) (figura 1).

Fig. 1 – Aree agricole omogenee considerate per frumento e olivo



Poiché la presenza di una DOC in una determinata area non esclude la presenza delle altre denominazione di origine⁶, è stato considerato anche il contributo percentuale che ciascuna tipologia produttiva ha all'interno dei comuni. Per fare questo, si è proceduto ad un'analisi dei dati censuari relativi al V Censimento dell'agricoltura del 2000. Il Censimento classifica, infatti, le superfici viticole delle singole aziende secondo le seguenti tipologie: vite totale a DOC; vite totale a DOCG; vigneti normali; uva da tavola. Attraverso l'esame del contributo percentuale di ciascuna denominazione di origine, è stato possibile stimare gli eventuali danni economici indotti dal *global change* climatico all'interno di ogni comune.

L'archivio è stato, infine, ulteriormente implementato con la rilevazione diretta di alcune DOC e DOCG di alta gamma come il Brunello di Montalcino ed il Chianti Classico.

⁶ Per cui, all'interno dello stesso comune, si trovano, ad esempio, la produzione di Chianti Classico, vino da tavola e altri DOC o DOCG.

Prima di procedere al calcolo dei redditi lordi dei processi produttivi aziendali, è stato necessario identificare le aree di produzione delle tre colture esaminate. Per questo è stato fatto riferimento alle cartografie di uso del suolo di Corine Land Cover (CLC) di IV livello del 2000.

Le superfici identificate da CLC come seminativi in aree irrigue e non irrigue sono state attribuite alla tipologia colturale frumento, mentre per olivo e vite sono state considerate le specifiche classi identificate dal CLC, ovvero oliveti e vigneti. Relativamente al frumento, tale approssimazione è supportata dai dati degli annuari statistici regionali del 2007 e 2008 che, per le superfici a seminativi, indicano una prevalenza del frumento, con oltre il 67% della superficie. Se aggiungiamo anche le superfici ad avena e orzo, superiamo il 77% delle superfici a seminativo. Il frumento è, quindi, rappresentativo della realtà agricola toscana, anche se l'ipotesi di considerare tutta la superficie a frumento porterà verosimilmente ad una sovrastima degli effetti legati a tale coltura. Per contro, possiamo affermare che il risultato darà comunque una stima dell'eventuale danno procurabile alla totalità delle colture erbacee toscane. Nel caso, invece, delle colture arboree agrarie, si tratta sicuramente di una sottostima delle superfici potenzialmente coinvolte nel processo di cambiamento climatico che si verificherà a livello regionale, in quanto non è possibile considerare le superfici a oliveto e vigneto incluse in classi di uso del suolo eterogenee come le «zone agricole eterogenee» i «sistemi colturali e particellari complessi» e le «aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti».

Per introdurre l'ultima ipotesi alla base della valutazione economica, è opportuno ricordare che lo studio si limita a esaminare gli effetti economici conseguenti alle sole variazioni di resa produttiva delle colture a vite, olivo e frumento, dovute alle modificazioni microclimatiche che si potrebbero avere sul territorio toscano, *ceteris paribus*. Conseguentemente, non vengono contemplati interventi di adattamento e mitigazione del *climate change*. Per tale ragione, è stato fatto riferimento alle sole superfici attualmente destinate a vite, olivo e frumento, ipotizzando che esse si mantengano costanti anche per gli scenari futuri FP1, FP2 e FP3⁷. Lo spostamento verso quote più elevate presenta, inoltre, un vincolo di disponibilità di superfici. Dall'esame delle statistiche ufficiali (Inventario forestale della Regione Toscana) emerge infatti che il 94,7% dei boschi toscani si colloca in aree montane e collinari. Si tratta, quindi, di aree soggette a vincolo di destinazione d'uso che non possono essere destinate a colture alimentari. In alcune aree, ciò potrebbe rendere molto problematica la migrazione delle superfici agricole.

⁷ Come evidenziato nei paragrafi precedenti, le alterazioni climatiche potrebbero determinare uno spostamento degli areali delle colture esaminate, soprattutto per quanto riguarda la vite. L'ipotesi di migrazione colturale non viene però volontariamente esaminata perché lo studio mira a definire gli effetti economici massimi che il *global change* può causare alle aziende agricole che attualmente producono grano, vino e olio, in assenza di politiche di adattamento e/o mitigazione degli effetti.

Per stimare le variazioni dei redditi agricoli aziendali che potrebbero verificarsi nel periodo 2006-2099 è stato calcolato il valore attuale delle annualità 'medie' di ogni periodo di riferimento (2006-2037, 2038-2069, 2070-2099), rappresentate, nel caso specifico, dal reddito lordo totale regionale 'medio' di ogni coltura esaminata. La somma dei valori attuali dei tre periodi di riferimento ($VA_{2006-2099}^j$) rappresenta il ricavo di ciascun settore agricolo (attualizzati al 2006) al netto delle riduzioni di reddito dovute alle variazioni climatiche (equazione 3).

$$VA_{2006-2099}^j = \left(RL_{pp}^j + \sum_{i=1}^{32} \left(RL_{pp}^j + \frac{RL_{pp}^j - RL_{FP1}^j}{32} \right) \cdot q^{-i} \right) \cdot q^{-1} +$$

$$\left(\sum_{i=1}^{33} \left(RL_{FP1}^j + \frac{RL_{FP1}^j - RL_{FP2}^j}{33} \right) \cdot q^{-i} \right) \cdot q^{-32} +$$

$$\left(\sum_{i=1}^{31} \left(RL_{FP2}^j + \frac{RL_{FP2}^j - RL_{FP3}^j}{31} \right) \cdot q^{-i} \right) \cdot q^{-64} \quad (3)$$

Dove:

- $VA_{2006-2099}^j$ = valore attuale delle annualità del periodo 2006-2099 con alterazioni produttive della m-esima tipologia colturale;
- RL_{pp}^j = reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali per la coltura j-esima nello scenario PP (2006), senza alterazioni climatiche;
- RL_{FP1}^j = reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali per la coltura j-esima nello scenario FP1 (2037), con alterazioni climatiche;
- RL_{FP2}^j = reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali per la coltura j-esima nello scenario FP2 (2069), con alterazioni climatiche;
- RL_{FP3}^j = reddito lordo totale regionale dei processi produttivi aziendali per la coltura j-esima nello scenario FP3 (2099), con alterazioni climatiche;
- q = montante unitario $(1+r)$.

L'ultima fase ha riguardato la definizione delle possibili variazioni di reddito agricolo totale per i tre settori considerati, aggregati a scala regionale. Come anticipato, in questo caso non sono stati considerati i costi di adattamento (es. sistemi di irrigazione a goccia, sostituzione di colture o di varietà, spostamento delle colture ecc.). Le variazioni di reddito agricolo (VR) di ciascuna coltura sono date dalla differenza tra il valore attuale ($VA_{2006-2099}^j$) della serie di annualità (RL_{pp}^j) che si verificherebbero nel periodo 2006-2099 senza alterazione della produzione, ed il valore attuale delle annualità che si potrebbero verificare nel periodo 2006-2099 con le alterazioni della produzione ($VA_{2006-2099}^j$) (equazione 4).

$$VR = VA_{2006-2099}^{j*} - VA_{2006-2099}^j = RL_{PP}^j \cdot \frac{q^{2099-2006} - 1}{r q^{2099-2006}} - VA_{2006-2099}^j \quad (4)$$

Dove:

- VR = variazioni reddito agricolo;
- $VA_{2006-2099}^{j*}$ = valore attuale delle annualità del periodo 2006-2099, senza alterazioni produttive, per la j -esima tipologia culturale;
- r = tasso d'interesse.

3. RISULTATI

3.1. *Variazioni climatiche e resa colturale*

Le simulazioni effettuate con il modello GCM HadCM3 per la regione Toscana evidenziano un aumento delle precipitazioni nei mesi invernali ed una forte diminuzione delle precipitazioni durante l'estate (luglio, agosto, settembre) per tutti gli scenari temporali esaminati. Le precipitazioni annuali risulterebbero, per i tre periodi futuri FP1, FP2, FP3, ridotte, rispettivamente, del 1%, 4% e del 25% rispetto al periodo presente PP. Le temperature minime e, soprattutto, le massime sono stimate in progressivo aumento rispetto al periodo presente; in particolare, sono previsti innalzamenti delle temperature massime dei mesi estivi che possono raggiungere i 7°C per lo scenario FP3 (figura 2).

Le dinamiche previste dal modello GCM sono in linea con i risultati conseguiti in altri studi basati su simulazioni dei più avanzati modelli climatici a scala globale e regionale, da cui emerge un progressivo inaridimento e riscaldamento della regione mediterranea (Giorgi e Lionello, 2008).

Nel caso specifico, le simulazioni effettuate per vite, olivo e frumento prevedono effetti significativi sul ciclo di crescita e sulla loro resa finale.

Poiché il ciclo vegetativo delle colture considerate dipende fortemente dalla temperatura, incrementi progressivi di questa variabile potrebbero determinare un progressivo anticipo della fase di schiusura delle gemme, fioritura e maturazione delle colture nei tre scenari futuri considerati. Come conseguenza, il ciclo di sviluppo si potrebbe ridurre progressivamente entro la fine di questo secolo, riducendo la capacità delle stesse di accumulare biomassa (figura 3).

La riduzione del ciclo vegetativo e la minore disponibilità idrica, durante il periodo estivo, potrebbero ridurre la resa della vite negli scenari FP1, FP2 e FP3 fino a valori, rispettivamente, del 10%, 17% e 25% su alcuni territori (pixels).

Per il frumento duro, la riduzione del periodo di accumulazione di biomassa nella cariosside, congiuntamente alla graduale riduzione delle piogge nel periodo primaverile, potrebbe determinare un progressivo calo delle rese, malgrado l'effetto di concimazione carbonica dovuto all'innalzamento della CO₂ atmosferica. In alcune aree del litorale toscano, tuttavia, l'incremento di CO₂ potrebbe determinare, negli scenari FP1 e FP2, incrementi di resa rispetto al periodo presente PP. Complessivamente, la produttività del frumento duro della regione potrebbe subire contrazioni fino al 3%, 6% e 13% per gli scenari FP1, FP2, e FP3 (figura 3).

Per l'olivo, la resa risulterebbe fortemente condizionata dall'incremento di temperatura del periodo primaverile-estivo. In questo caso, la resa stimata per gli scenari FP1, FP2, e FP3 potrebbe portare a contrazioni fino al 12%, 16% e 30% (figura 3).

3.2. Risultati dei modelli economici

Gli effetti del *global change* climatico, valutati in termini economici, assumono una distribuzione sul territorio regionale che risente della specializzazione produttiva di alcuni contesti locali. Le aree che potrebbero risentire maggiormente degli effetti del *climate change*, in valore assoluto, sono, infatti, concentrate soprattutto nelle zone con presenza di colture vitivinicole di qualità, ovvero le aree collinari tra Firenze e Siena, dove le riduzioni di reddito, stimate al 2099, potrebbero, su alcune superfici, superare i 9.000 euro per ettaro per anno⁸ (figura 4). Più contenute, invece, le variazioni di reddito nell'entroterra pisano e livornese, nel Mugello, la val di Chiana e la provincia di Grosseto, dove prevale la coltura a frumento e dove le contrazioni potrebbero attestarsi su valori inferiori ai 50-60 euro per ettaro per anno.

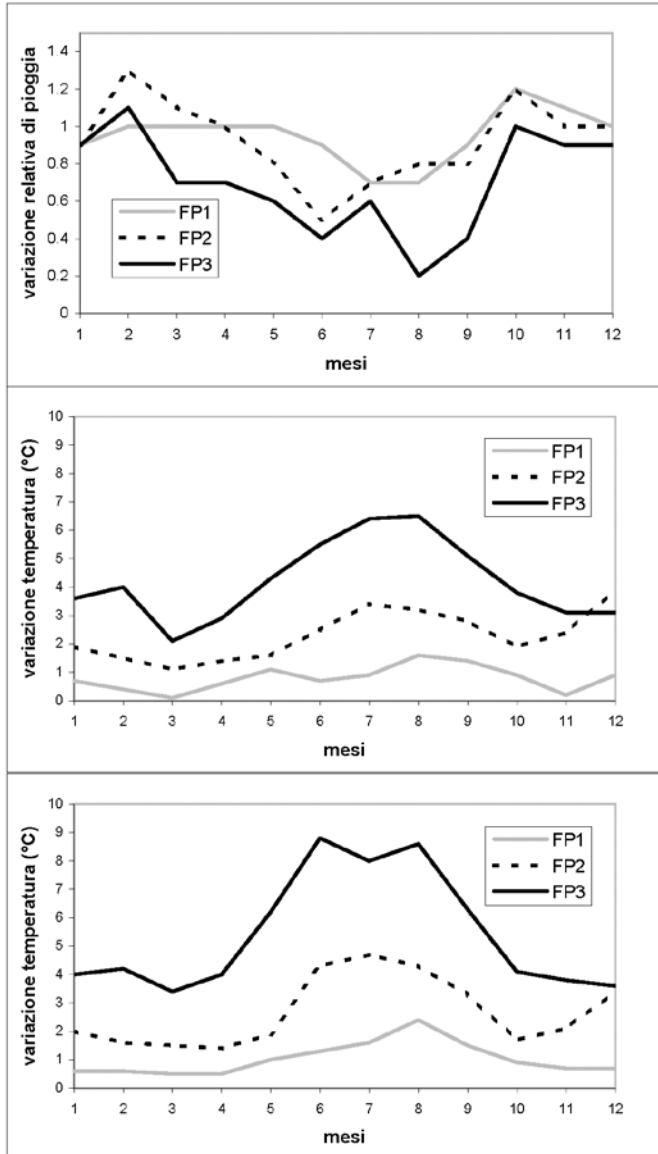
Sulle superfici a olivo, le riduzioni di reddito agricolo potrebbe invece raggiungere, su alcune aree, i 1.000 euro per ettaro per anno (figura 4).

Il fenomeno non determinerebbe solo contrazioni produttive, poiché in alcune zone, soprattutto montane, consentirebbe un miglioramento delle rese per effetto del miglioramento delle condizioni stazionali.

Complessivamente, la variazione dei redditi agricoli che si potrebbe verificare nel periodo 2006-2099, è stimabile in quasi 35 milioni di euro per il frumento, 276 milioni di euro per l'olivo e circa 459 milioni di euro per la produzione vitivinicola toscana (tabella 1). L'effetto complessivo sui tre settori agricoli esaminati, nel periodo 2006-2099, potrebbe superare i 770 milioni di euro.

⁸ È opportuno sottolineare che questo è l'effetto massimo riscontrabile su alcune superfici (pixel) del territorio esaminato. Gli effetti non si verificano in modo uniforme su tutto il territorio, per cui esso non rappresenta il dato medio.

Fig. 2 – Variazioni di pioggia e temperatura stimate dal modello HadCM3 per la Toscana nei periodi 2006-2036 (FP1), 2037-2068 (FP2) e 2069-2099 (FP3), rispetto al periodo presente (1975-2005)



La variazione di pioggia è espressa in rapporto alla pioggia del periodo attuale, la variazione di temperatura è espressa come differenza rispetto allo stesso periodo. Il primo grafico delle temperature, si riferisce alle variazioni della temperatura minima, mentre il secondo si riferisce alle variazioni della temperatura massima.

Fig. 3 – Variazione percentuale della produzione di vite, olivo e frumento duro calcolata per i periodi futuri FP1 (2006-2037), FP2 (2038-2069), FP3 (2070-2099), rispetto al periodo attuale (1975-2005)

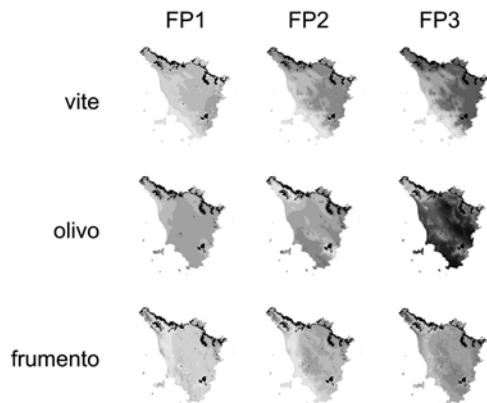
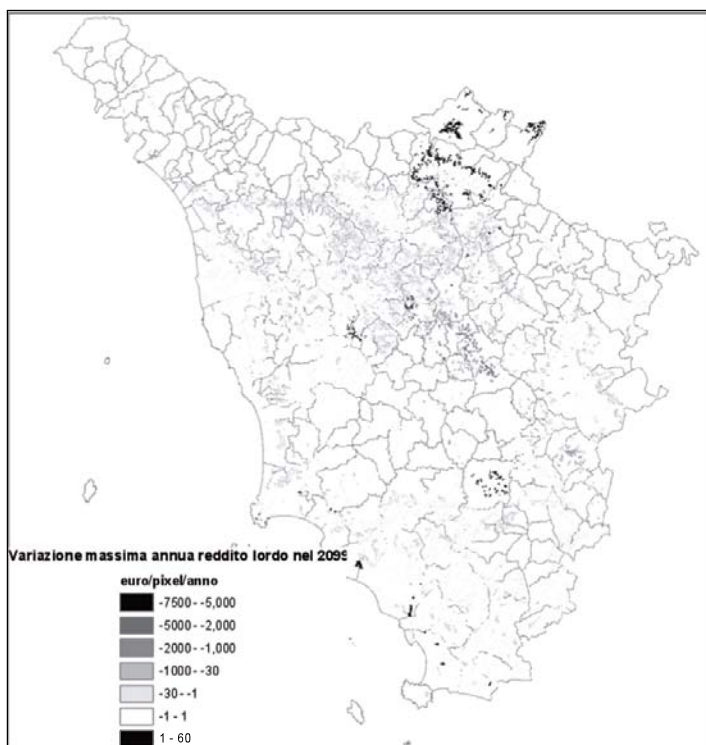


Fig. 4 – Variazioni massima del reddito lordo totale che potremo avere nel 2099 sui processi produttivi esaminati (€/pixel/anno)



Osservando gli effetti economici in termini percentuali, vediamo che, in realtà, la produzione agricola maggiormente penalizzata dalle modificazioni climatiche potrebbe essere soprattutto quella olivicola. In questo caso, la contrazione dei redditi agricoli potrebbe raggiungere l'8,9% del valore attualizzato delle produzioni lorde agricole senza alterazioni produttive ($VAi^*_{2006-2099}$) mentre, nel caso della produzione vitivinicola, essa si potrebbe attestare al 6,78% del $VAi^*_{2006-2099}$. Il frumento dovrebbe invece risentire in modo più contenuto di tali alterazioni, dato che gli effetti non supereranno il 2% del $VAi^*_{2006-2099}$.

Passando a esaminare il caso specifico delle produzioni vitivinicole, che in Toscana rappresentano uno dei settori agricoli economicamente più importanti, constatiamo che, nell'area del Chianti Classico, si potrebbe verificare una contrazione di circa 205 milioni di euro nell'arco dei 92 anni esaminati, cui seguono le superfici vitivinicole con altri DOC e DOCG, con quasi 119 milioni di euro, e l'area di Montalcino con oltre 93 milioni di euro. Valutando gli effetti indotti dalle modificazioni climatiche, in termini di superficie che potrebbero subire alterazioni dei redditi lordi (tabelle 1 e 2), osserviamo che, inizialmente, su alcuni contesti specifici, si potrebbero verificare incrementi della redditività, conseguenti ad un aumento della resa; tale fenomeno, nel lungo periodo, tenderà ad annullarsi.

Tab. 1 – Stima dei danni patrimoniali sulle colture a frumento, vite e olivo conseguenti ai cambiamenti climatici

Periodo e scenario		Tipologia culturale			
		Frumento	Olivo	Totale vino	Totale
Danno patrimoniale totale del periodo 2007-2099 (€) (valori attualizzati al 2007)	Periodo 2007-2036	-8.383.788	-113.079.996	-168.653.758	-290.117.543
	Periodo 2036-2067	-12.564.669	-86.488.041	-193.150.787	-292.203.498
	Periodo 2067-2099	-14.027.976	-76.817.350	-97.502.096	-188.347.422
	Danno totale €	-34.976.434	-276.385.387	-459.306.642	-770.668.463
Valore attuale della Produzione lorda agricola del periodo 2007-2099, senza alterazioni della produzione (€) (valori attualizzati al 2007)		1.831.376.773	3.373.607.293	6.775.600.930	11.980.584.997
Danno percentuale (Danno patrimoniale 2007-2099/Val. Attuale Prod. Lorda Agricola 2007-2099)		-1,91%	-8,19%	-6,78%	-6,43%
Superfici con riduzione di reddito (ha)	Scenario 2036	324.889	78.469		
	Scenario 2067	318.175	75.825		
	Scenario 2099	426.309	78.617		
Superfici con incremento di reddito (ha)	Scenario 2036	111.595	147		
	Scenario 2067	118.313	2.732		
	Scenario 2099	10.178	0		

Tab. 2 – Stima dei danni patrimoniali sulle colture vitivinicole conseguenti ai cambiamenti climatici

Periodo e scenario	Tipologia culturale				
	Vino area Chianti Classico	Vino area Montalcino	Vino di altri DOC e DOCG	Vino da tavola	Totale vino
Periodo 2007-2036	-69.612.369	-39.409.056	-44.438.163	-15.194.170	-168.653.758
Periodo 2036-2067	-85.029.446	-43.545.468	-47.418.875	-17.156.999	-193.150.787
Periodo 2067-2099	-50.728.522	-10.070.886	-26.856.128	-9.846.560	-97.502.096
Danno totale €	-205.370.337	-93.025.410	-118.713.167	-42.197.729	-459.306.642
Scenario 2036	6.229	1.059	13.850	20.582	
Scenario 2067	6.226	1.059	13.647	19.576	
Scenario 2099	6.229	1.059	13.981	21.713	
Scenario 2036	0	0	2.123	2.309	
Scenario 2067	0	0	2.327	3.313	
Scenario 2099	0	0	1.993	1.176	

4. CONCLUSIONI

Il presente studio si caratterizza per lo sviluppo di un approccio multidisciplinare al problema del *climate change*, diretto alla definizione di modelli previsionali, su base territoriale, capaci di stimare le dinamiche climatiche su piccola scala e le conseguenti modificazioni produttive che tali dinamiche potrebbero avere sulle colture maggiormente rappresentative della regione Toscana, cercando di quantificare, anche in termini economici, alcuni aspetti di tale fenomeno. I risultati economici, *ceteris paribus*, rappresentano una componente del lavoro e si limitano a evidenziare la relazione causa-effetto esistente tra variazioni climatiche, modificazioni delle rese produttive e possibili variazioni di reddito delle imprese agricole.

La multidisciplinarietà dell'approccio rappresenta sicuramente il punto di forza dello studio, che si è articolato attraverso analisi di modelli di circolazione climatica, modelli di downscaling per la contestualizzazione regionale e modelli di accrescimento colturale per la stima delle variazioni di rese produttive che si potrebbero verificare nell'arco dei prossimi 92 anni. Infine, le produttività così stimate sono state utilizzate per valutare i redditi lordi dei processi produttivi aziendali e le variazioni dovute a mutamenti della produttività delle colture.

I risultati conseguiti nei vari *step* dello studio hanno portato alla definizione di uno scenario climatico futuro nel quale la concentrazione di CO₂, a fine secolo, potrebbe essere pari a circa 830 ppm (oltre il doppio di quella attuale), con un innalzamento della temperatura media annua che potrebbe raggiungere i 4,3°C.

In tale scenario, gli effetti economici su scala regionale potrebbero essere caratterizzati da una riduzione dei valori attuali della produzione lorda agricola pari al 6,78%, nel caso del settore vitivinicolo, e dell'8,19% nel caso del settore olivicolo toscano; mentre, nel settore cerealicolo toscano, tale fenomeno sarebbe contenuto all'1,91%.

In termini assoluti, le variazioni dei redditi agricoli potrebbero superare i 770 milioni di euro nell'arco di 92 anni.

I risultati economici stimati dalla ricerca valutano gli effetti sulla sola componente agricola e non prendono in considerazione eventuali interventi di adattamento e mitigazione che le imprese agricole potrebbero attuare per limitare gli effetti del *climate change*. In altre parole, si è cercato di capire che cosa potrebbe accadere al settore agricolo, limitatamente alle tre colture esaminate, se le imprese non attuassero interventi di sostituzione specifica o varietale, introduzione di tecnologie di mitigazione (come l'irrigazione a goccia), o dislocazione delle colture verso aree climatiche più idonee. Lo studio, pur ipotizzando la staticità delle molteplici variabili coinvolte dal fenomeno del *climate change*, rappresenta un primo contributo allo studio del fenomeno in termini monetari.

In questo ambito sono pochi gli studi diretti a stimare i costi economici legati ai mutamenti climatici. Si tratta di un campo di ricerca nel quale le scelte e le ipotesi alla base degli studi espongono a forti rischi; basti pensare al famoso Stern Review del 2006 (Stern, 2007), rapporto sull'impatto economico potenziale del *climate change*, fortemente criticato da alcuni economisti per gli aspetti metodologici impiegati (Tol, Yohe, 2006), e allo stesso tempo assai apprezzato da altri per il tentativo di quantificare il rischio economico futuro (Quiggin, 2006; Weizman, 2007).

Le critiche mosse a questi approcci sono correntemente legate all'elevata aleatorietà del fenomeno esaminato ed all'elevato numero di variabili che non possono essere analizzate nei modelli previsionali. Per contro, le valutazioni monetarie, come la presente, hanno il merito di favorire l'effetto divulgativo nei confronti degli stakeholders locali e dell'opinione pubblica; possiamo, infatti, riconoscergli il pregio di rappresentare un fenomeno lento e difficilmente tangibile, come le mutazioni climatiche, in una metrica estremamente chiara per i non addetti ai lavori. In altre parole, studi di questo tipo possono favorire l'aumento di consapevolezza circa l'entità del fenomeno e la serietà con cui deve essere affrontato, favorendo la realizzazione di politiche di mitigazione e adattamento agli eventi climatici.

A questo riguardo, i risultati dello studio rappresentano un utile supporto per lo sviluppo di interventi di adattamento e mitigazione, in quanto mettono in luce i seguenti aspetti: in primo luogo, le zone che, al momento, non sono coltivate a vite, olivo o frumento, a causa di deficit termici, potranno diventare praticabili per effetto delle mutate condizioni climatiche; in secondo luogo, i tempi di maturazione più brevi, unitamente alle basse precipitazioni durante la stagione di crescita, determineranno una graduale riduzione delle rese finali. Le imprese agricole potranno attuare tre tipi di strategie di adattamento: la sostitu-

zione varietale, con l'introduzione, nelle aree attualmente coltivate, di specie più resistenti agli stress idrici e termici; lo spostamento delle varietà attualmente coltivate verso aree più elevate, dove saranno presenti microclimi più idonei; l'introduzione di tecnologie capaci di mitigare gli stress termici e idrici causati dal *climate change*.

In conclusione, questi risultati rappresentano un primo livello analitico, preliminare allo studio delle dinamiche delle tre colture esaminate. Nel caso dei vigneti, la determinazione dell'indice di Winkler⁹ per i vari scenari temporali permetterà anche una valutazione in merito alle tipologie di vitigno che meglio si adatteranno alle nuove condizioni, mentre l'esame delle caratterizzazione climatiche delle aree attualmente destinate a vigneto, oliveto e cerealicoltura permetterebbero valutazioni sulle superfici che, negli scenari futuri, potrebbero essere vocate alla coltivazione di tali essenze. Il dettaglio informativo, basato anche su approcci strettamente geografici, sembra inoltre utile per l'impostazione di politiche efficienti di monitoraggio e di mitigazione del danno economico generato dai cambiamenti climatici. A tal fine, saranno però necessari ulteriori sviluppi teorici e metodologici della ricerca, soprattutto in merito alla valutazione monetaria dei danni sociali e ambientali e alla definizione delle dinamiche dei mercati.

Bibliografia

- Ackerman F., Stanton E. (2006), "Impacts of Europe's changing climate: An indicator-based assessment". In *Climate Change – the Costs of Inaction*. EEA Report No 2/2004.
- Bindi M., Fibbi L., Miglietta F. (2001), "Free Air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations", *European Journal of Agronomy*, 14:145-155.
- Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L. (1997a), "A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L). 1. Model description", *Vitis*, 36: 67-71.
- Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L. (1997b), "A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L). 2. Model validation", *Vitis*, 36: 73-76.
- Downing T., Watkiss P., (2004), "Overview: The Marginal Social Cost of Carbon in Policy Making: Applications, Uncertainty, and a Possible Risk Based Approach", DEFRA International Seminar on the Social Costs of Carbon, London September 2004.

⁹ Si tratta di un indice bioclimatico utilizzato per identificare la varietà di vitigno più adatta per una determinata area geografica. Valori dell'indice di Winkler compresi tra 850 e 1667 DDA identificano regioni ideali per vini da tavola leggeri o mediamente corposi (regioni I e II), mentre per valori compresi tra 1668 e 1944 DDA (regione III) sono idonei vitigni per la produzione di vini corposi e secchi e per vini dolci. Infine, nelle aree con indice di Winkler compreso tra 1945 e 2222 DDA (regione IV), o tra 2223 e 2700 DDA (regione V) sono idonei per la produzione di uva da tavola o di vini da tavola di bassa qualità.

- Ferrise R., Triossi A., Stratonovitch P., Bindi M., Martre P. (2010), "Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study", *Field Crops Research*.
- Gardner M.W., Dorling S.R. (1998), "Artificial neural networks (the multilayer perceptron)-a review of applications in the atmospheric sciences", *Atmos. Environ.*, 32:2627-2636.
- Giorgi F., Lionello P. (2008), "Climate change projections for the Mediterranean region", *Global and Planetary Change*, 63, 90-104.
- Hertel T.W., Reimer J.J. and Valenzuela E. (2005), "Incorporating Commodity Stockholding into a General Equilibrium Model of the Global Economy", *Economic Modelling*, 22(4): 646-664.
- IPCC (2007) Climate Change: The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report, *The Intergovernmental Panel on Climate Change*, <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>.
- Jamieson P.D., Bernsten J., Ewert F., Kimball B.A., Olesen J.E., Pinter Jr. P.J., Porter J.R., Semenov M.A. (2000), "Modelling CO₂ effects on wheat with varying nitrogen supplies", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 82:27-37.
- Jamieson P.D., Semenov M.A., Brooking I.R. and Francis G.S. (1998), "Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation", *Eur. J. Agron.*, 8:161-179.
- Jorgenson D.W. (1984), "Econometric Methods for Applied General Equilibrium Analysis", in H. Scarf and J. Shoven (eds.), *Applied General Equilibrium Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 139-203.
- Kehoe T.J., Polo C. and Sancho F. (1995), "An Evaluation of the Performance of an Applied General Equilibrium Model of the Spanish Economy", *Economic Theory*, n. 6, 115-141.
- McClelland J.L. and Rumelhart D.E. (1986), "Parallel distributed processing: exploration in the microstructure of cognition", *Foundations*, Vol. 1, MIT Press, Cambridge, MA.
- Moriondo M. and Bindi M. (2006), "Comparison of temperatures simulated by GCMs, RCMs and statistical downscaling: potential application in studies of future crop development", *Clim. Res.*, 30:149-160.
- Olesen J.E., Bindi M. (2002), "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy", *Eur. J. Agron.* 16: 239-262.
- Quiggin J. (2006), *Stern and the critics on discounting*, School of Economics and School of Political Science and International Studies. University of Queensland.
- Semenov M.A., Barrow E.M. (1997), "Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios", *Climate Change*, 35: 397-414.
- Stern N. (2007), *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- Tognetti R., Sebastiani L., Vitagliano C., Raschi A., Minnocci A. (2001), "Responses of two olive tree (*Olea europaea* L.) cultivars to elevated CO₂ concentration in the field", *Photosynthetica*, 39:403-410.

-
- Tol R.S.J., Yohe G.W. (2006), "A Review of the Stern Review", *World Economics*, Vol. 7 (4): 233–50, October–December 2006.
- Valenzuela E., Hertel T.W., Keeney R., Reimer J.J. (2007), "Assessing Global Computable General Equilibrium Model Validity Using Agricultural Price Volatility", *American Journal of Agricultural Economics*, May 2007, Vol. 89 Issue 2, pp. 383-397, 15p, 7 Charts, 1 Graph; DOI: 10.1111/j.1467-8276.2007.00977.
- Weitzman M. (2007), *The Stern Review of the Economics of Climate Change*, Book review for JEL, Harvard.